

学校编码: 10384

分类号\_\_\_\_\_密级\_\_\_\_\_

学号: 24520111153418

UDC \_\_\_\_\_

厦门大学

硕 士 学 位 论 文

颈内动脉 C7 段影像解剖测量及其动脉瘤血流动力学模拟

Imaging anatomical measurements of the internal carotid artery C7 segment and its aneurysms hemodynamic simulation

钟华

指导教师姓名: 段少银 教授

专 业 名 称: 影像医学与核医学

论文提交日期: 2014 年 04 月

论文答辩时间: 2014 年 05 月

学位授予日期:

答辩委员会主席: \_\_\_\_\_

评 阅 人: \_\_\_\_\_

2014 年 5 月

颈内动脉C<sub>2</sub>段影像解剖测量及其动脉瘤的血流动力学模拟

钟华

指导老师

段少银

教授

厦门大学

# 厦门大学学位论文原创性声明

本人呈交的学位论文是本人在导师指导下,独立完成的研究成果。本人在论文写作中参考其他个人或集体已经发表的研究成果,均在文中以适当方式明确标明,并符合法律规范和《厦门大学研究生学术活动规范(试行)》。

另外,该学位论文为( )课题(组)的研究成果,获得( )课题(组)经费或实验室的资助,在( )实验室完成。(请在以上括号内填写课题或课题组负责人或实验室名称,未有此项声明内容的,可以不作特别声明。)

声明人(签名):

年 月 日



# 厦门大学学位论文著作权使用声明

本人同意厦门大学根据《中华人民共和国学位条例暂行实施办法》等规定保留和使用此学位论文，并向主管部门或其指定机构送交学位论文（包括纸质版和电子版），允许学位论文进入厦门大学图书馆及其数据库被查阅、借阅。本人同意厦门大学将学位论文加入全国博士、硕士学位论文共建单位数据库进行检索，将学位论文的标题和摘要汇编出版，采用影印、缩印或者其它方式合理复制学位论文。

本学位论文属于：

（        ） 1.经厦门大学保密委员会审查核定的保密学位论文，  
于        年        月        日解密，解密后适用上述授权。

（        ） 2.不保密，适用上述授权。

（请在以上相应括号内打“√”或填上相应内容。保密学位论文应是已经厦门大学保密委员会审定过的学位论文，未经厦门大学保密委员会审定的学位论文均为公开学位论文。此声明栏不填写的，默认为公开学位论文，均适用上述授权。）

声明人（签名）：

年        月        日

## 摘要

**研究背景:** 颈内动脉是脑组织供血的重要血管之一,其承担了双侧大脑半球的大部分供血。颈内动脉走行弯曲、特别是颅底部分,周围解剖结构复杂。深入研究颈内动脉颅底段的相关形态及血流动力学,为提高脑部病变的影像诊断和治疗具有重要的临床意义。

**目的:** (1)利用多排螺旋CT血管成像(multi-slice spiral CT angiography, MSCTA),并进行正常颈内动脉C7段相关测量,为脑血管疾病的诊断和介入治疗提供解剖基础。(2)构建颈内-后交通段动脉瘤的双向流固耦合有限元模型,并进行血流模拟,探讨颈内-后交通段动脉瘤生长、破裂的血流动力学机制。

**实验方法:** (1)查阅本院PACS中2012.1-2013.2期间行头颈64层螺旋CTA检查者,其中103例头颈部血管无明显病变作为研究对象(男49例,女54例,年龄范围23-71岁,平均年龄 $48.165 \pm 11.323$ 岁)。采用GE AW4.6工作站进行三维测量颈内动脉C7段及分支起始部内径,观察走行、形态,并统计其分支的显示率。成像方法包括最大密度投影(maximum intensity project MIP)法,容积重建法(volume rendering VR)及多平面重组(multi planar reconstruction MPR)。(2)从本院PACS中选择1例颈内动脉C7段有动脉瘤患者,获取其行64层螺旋CT的DICOM图像。在mimics15(试用版)上建立颈内-后交通段动脉瘤三维实体模型,在3 matric 7.0软件中动脉瘤实体模型进行抽壳处理,分别建立管壁和流场的实体模型,对实体模型网格划分后,采用ansys+fluent软件进行流固耦合的血流模拟与仿真。观察不同时刻,动脉瘤内部的血流动力学参数的变化。

**结果:** (1) MSCTA三维图像直观显示了颈内动脉C7段主干、后交通动脉、脉络膜前动脉、大脑后动脉及其相互关系。(2) 正常人群颈内动脉C7段、后交通动脉及脉络膜前动脉在MSCAT的显示率分别是100%(左侧)、100%(右侧)、89.3%(左侧)、85.4%(右侧)、87.3%(左侧)、89.3%(右侧)。颈内动脉C7段起始部内径分 $3.479 \pm 0.416\text{mm}$ (左侧)、 $3.408 \pm 0.407\text{mm}$ (右侧),后交通动脉 $1.221 \pm 0.417\text{mm}$ (左侧)、 $1.255 \pm 0.477\text{mm}$ (右侧),脉络膜前动脉 $1.000 \pm 0.154\text{mm}$ (左侧), $0.961 \pm 0.172\text{mm}$ 。各动脉内径中,左、右侧无显著差异性;颈内动脉C7段

内径无显著差异性。(3)构建了颈内-后交通段动脉瘤瘤壁和流场的有限元模型,模型具有良好的解剖学形态,并与实体模型一致。(4)模拟展示了整个心动周期(0.74s)的血流变化:瘤体血流呈漩涡样,瘤体部流速较瘤颈部慢;血流引起动脉瘤壁的形变、壁面剪切力、压力及应力以瘤颈部最大,瘤顶部最小,但是压力在瘤顶部有个次高压区。

**结论:** (1) MSCTA 三维成像有利于显示颈内动脉及分支,并进行三维测量。(2) 颈内动脉 C7 段直径男性大于女性,后交通动脉及脉络膜前动脉有较高的显示率。(3) 基于 MSCTA 扫描数据进行颈内-后交通段动脉瘤的双向流固耦合建模,其方法简单、实用。模拟动脉瘤血管接近人体的生理状态,模型为研究动脉瘤的发生、发展提供了新的手段。

**关键词:** 颈内动脉; 影像解剖; 血流动力学; 流固耦合; 有限元建模

## Abstract

**Background:** Internal carotid artery (ICA) is one of the important artery of brain, it provide a large proportion of blood to nourish the bilateral cerebral hemisphere. ICA walks crooked, especially the part of skull base and has complex surrounding anatomical structures, with numerous vessels, nerves and other organization structures. It has an important significance for imaging diagnosis and clinical treatment with further researching on the hemodynamics of intracranial aneurysm and its formation, development and rupture.

**Objective:** (1) To observe or measure the courser and morphology of C7 segment of internal carotid artery (ICA-C7) with multi-slice spiral CT angiographic (MSCTA), the authors expect to provide normal anatomical basis for these disease diagnosis and interventional treatment. (2) To individually construct the two-way flow-solid coupling model (TWFSCM) of internal carotid artery aneurysm (ICA-A), and simulate its flows and explore the Hemodynamic mechanisms of aneurysm in ICA-C7 in its growth and rupture.

**Methods:** 103 cases without significant lesions on the head and neck vascular disease were selected from the PACS in our hospital that consisted of 49 males and 54 females average age were  $48.165 \pm 11.323$ , aged between 23 and 71. The inner diameter in their origin, courser and morphology of ICA-C7, Posterior communicating artery(PCoA) and Anterior choroidal artery (AChA) were observed by an ADW 4.6 workstation. The imaging method mainly include Maximum intensity project(MIP), Volume rending(VE), and multi planar reconstruction(MPR). The display rate of these arteries at all level was also calculated. (2) A case of internal carotid -Posterior communicating artery aneurysms was selected from the PACS in our hospital, of which the images were saved as DICOM format were gained after 64 slice CT angiography. A solid model was generated in the mimics 15.0 software (trial version). Then the model should be imported into 3 matric 7.0 software to shell in order to generate the models of aneurysm wall and flow field. Then the fluid-solid coupled and flow simulation were done in Ansys +Fluent software after these models were divided into Finite Element Mesh. The hemodynamic parameters inside of the aneurysm were observed and displayed in different states.



**Results:** (1) MSCTA 3-D reconstruction can clearly display the trunk of ICA-C7, PCoA, AChA, PCA and the interrelationship of them. The frequency of MSCTA to display including ICA- C7, PCoA and AChA in general adults was 100% (left), 100% (right ), 89.3% (left), 85.4% (right), 87.3% (left) and 89.3% (right) respectively. The inner diameters of these arteries were  $3.479 \pm 0.416\text{mm}$  (left) 、  $3.408 \pm 0.407\text{mm}$  (right) ,  $1.221 \pm 0.417\text{mm}$  (left) 、  $1.255 \pm 0.477\text{mm}$  (right) ,  $1.000 \pm 0.154\text{mm}$  (left) and  $0.961 \pm 0.172\text{mm}$  (right). The inner diameter of these arteries were no significant difference between left and right, but the inner diameter of ICA-C7 in male was bigger than female's. (3) the TWFSKM of ICA-A were built, it has the same morphology and anatomy as the CT 3D imaging. (4) In whole cardiac cycle (0.74s) , the blood flow of aneurysm body is swirl type and its velocity is slower than the aneurysm neck; the deformation, wall shear stress, pressure and von mises stress of aneurysm wall were the maximum at the neck, the minimum at the top, but there was a secondary high pressure zone at the top.

**Conclusion:** (1) 3-D imaging post-processing technology in MSCTA is beneficial to display the ICA and its branches, it can provide technical premise for more accurate imaging anatomy. (2) The inner diameter of ICA-C7 is related to sex, male's is bigger than female's. Posterior communicating artery and anterior choroidal artery can be shown with a high rate. (3) On the basis of MSCT angiography scan data, to construct the TWFSKM is a simple and practical method. The blood flow simulation of aneurysm is close to the human physiological conditions, the results will provide new theoretical basis for the study on the occurrence and development of aneurysm.

**Keywords:** internal carotid artery; imaging anatomy; haemodynamics; fluid-structure interaction; finite element modeling

## 目 录

中文摘要.....	I
英文摘要.....	III
缩略词表.....	X
前言.....	1
第一部分 颈内动脉 C7 段影像解剖测量.....	7
1 材料与方法.....	7
1.1 研究对象.....	7
1.2 材料及设备.....	8
1.3 扫描方法及成像方法.....	8
1.4 测量指标与统计分析.....	8
2 结果.....	11
2.1 检查技术评价.....	11
2.2 颈内动脉 C7 内径及分支的测量和显示率观测结果.....	11
3 讨论.....	12
3.1 CTA 技术对颈内动脉 C7 段及分支研究意义.....	12
3.2 颈内动脉 C7 段及分支内径 CTA 的测量方法.....	13
3.3 颈内动脉 C7 段及分支内径差异性分析.....	14
4 结论.....	14
第二部分 颈内动脉 C7 段动脉瘤的血液动力学模拟.....	15
1 材料和方法.....	15
1.1 影像数据的采集与获取.....	15
1.2 硬件及软件配置.....	16
2 动脉瘤几何形状的提取及模型建立.....	16
2.1 建模软件概述.....	16
2.2 流体力学的基本概念.....	17
2.3 颅内动脉瘤的流固耦合动力学模型.....	18
2.4 动脉瘤三维实体的构建.....	21
2.5 计算方法.....	22
3 结果.....	24
3.1 动脉瘤 3D 实体模型与有限元建模.....	24
3.2 血流流线图.....	24
3.3 动脉瘤壁的变形.....	25
3.4 动脉壁面剪切力(WSS)分布.....	26
3.5 血液对动脉瘤壁的压力.....	27

3.6 动脉瘤壁应力分布.....	28
<b>4 讨论.....</b>	<b>30</b>
4.1 研究意义.....	30
4.2 动脉瘤血流特征.....	30
4.3 应力与动脉瘤的关系.....	31
4.4 本文研究特色与不足.....	31
<b>5 结论.....</b>	<b>31</b>
<b>参考文献.....</b>	<b>33</b>
<b>致谢.....</b>	<b>42</b>

## Table of Contents

<b>Abstract in Chinese.....</b>	<b>I</b>
<b>Abstract in English.....</b>	<b>III</b>
<b>Abbreviation.....</b>	<b>X</b>
<b>Introduction.....</b>	<b>1</b>
<b>Part I The imaging and measurement of internal carotid artery C7.....</b>	<b>7</b>
<b>1 Materials and Methods.....</b>	<b>7</b>
1.1 Matrials.....	8
1.2 Equipment.....	8
1.3 Scan method and data processing.....	8
1.4 Measurement index and Satatisical analysis.....	8
<b>2 Result.....</b>	<b>11</b>
2.1 Inspeiton technique evaluation .....	11
2.2 MSCTA measurement of internal carotid artrey C7 and branches display rate and inner diameters.....	11
<b>3 Discussion.....</b>	<b>12</b>
3.1 CTA technology significance of internal cartiod artery C7 and branches.....	12
3.2 Measure method of internal carotid artery C7 and branches inner diameter.....	13
3.3 Different analysis of internal carotid artery C7 and branches.....	14
<b>4 Conclusion.....</b>	<b>14</b>
<b>Part II Hemodynamic research of internal carotid artery C7 aneurysms.....</b>	<b>15</b>
1 Materials.....	15
1.1 Image data aquisiton and obtain.....	16
1.2 Hardware and software.....	16
<b>2 Extract aneurysm geometry and model construct .....</b>	<b>16</b>
2.1 Modeling software sketch.....	16
2.2 Basic conception of Hydromechanics.....	17
2.3 The dynamics model of fluid-solid coupling of intracranial aneurysm.....	18
2.4 Establish 3-D solid model of intracranial aneurysm.....	21
2.5 Computational method.....	22
<b>3 Result.....</b>	<b>24</b>

3.1 3-D entity model compare with th finite elment model.....	24
3.2 Blood flows situation.....	24
3.3 Deformation of aneurysm.....	25
3.4 Vascular wall shear stress.....	26
3.5 Wall pressure.....	27
3.6 Von mises stress of wall .....	28
<b>4 Discussion.....</b>	<b>30</b>
4.1 Significant of Research.....	30
4.2 Homodynamics characteristic of aneurysm.....	30
4.3 Von mises stress correlated with aneurysm.....	31
4.4 Specialties and Shortage of this study.....	31
<b>5 Conclusion.....</b>	<b>31</b>
<b>Reference.....</b>	<b>33</b>
<b>Acknowledgement.....</b>	<b>42</b>

## 缩略词表

英文缩写	英文名称	中文名称
MSCT	Multi-detector-row spiral Computed tomography	多排螺旋 CT
MSCTA	Multi slice spiral computed tomography angiography	多排螺旋 CT 血管造影
ICA	Internal carotid artery	颈内动脉
PCOA	Posterior communicating artery	后交通动脉
AChoA	Anterior choroidal artery	脉络膜前动脉
FEM	Finite Element Mesh	有限元网格
CDFI	Color Doppler flow imaging	彩色多普勒成像
SFOF-VR	separating, fusing, opacifying and false-coloring, volume rendering	分离、融合、透亮及伪彩 三维成像技术
MPR	Multiple planar reconstruction	多平面重组
SSD	Surface shadow display	表面遮盖法
MIP	Maximum intensity projection	最大密度投影法
MinIP	Minimum Intensity Projection	最小强度投影技术
RSD	Ray Sum Display	表面透视显示技术
VE	virtual endoscope	CT 导航仿真内窥镜技术
CPR	Cured planar reformation	曲面重建
VR	Volume rendering	容积重建
CFD	Computational Fluid Dynamics	计算流体力学
FSI	Fluid-Solid interaction	流固耦合
WSS	Wall shear stress	壁面剪切力
VMS	Von mises stress	冯氏应力

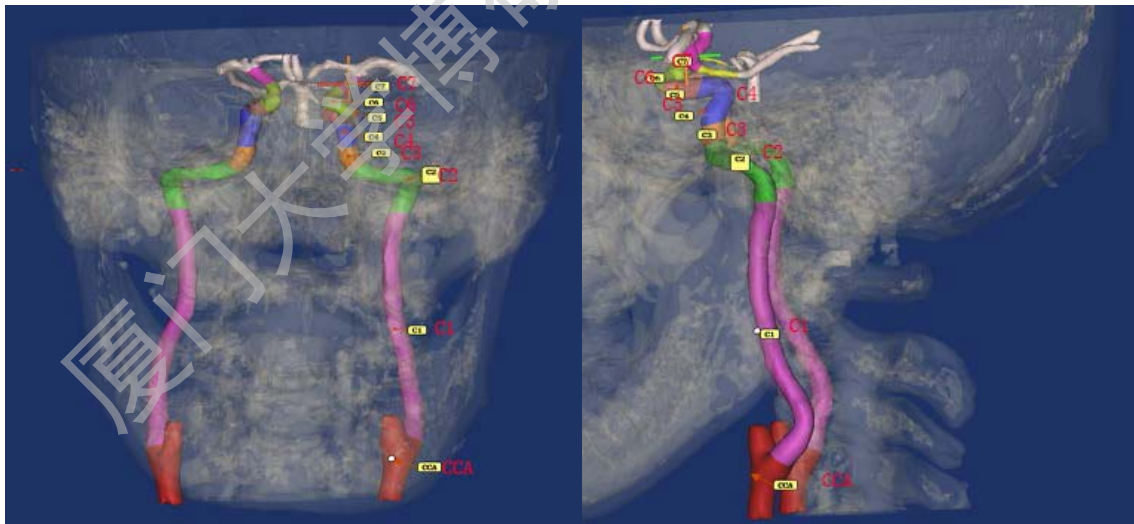
## 前 言

### 第一部分 颈内动脉 C7 段及分支解剖测量

#### 1、颈内动脉的解剖

##### 1.1 颈内动脉分段历史

颈内动脉（internal carotid artery, ICA）由平甲状软骨上缘起自颈总动脉，自颈部垂直向上至颅底，经颈内动脉管外口入颅，分为颅外段和颅内段，分支分布于视器和脑。传统的分段法将颅内部分 ICA 分为岩骨段、海绵窦段和床突上段，或者把 ICA 逆血流方向均分成 5 段，C1：后膝段；C2：视交叉池段；C3：前膝段；C4：海绵窦段；C5：岩骨段，该分段法未涉及 ICA 周边的解剖结构关系，故在难以满足临床工作的手术需要，特别是在显微外科日益发展的今天。1996 年 Bouthilier 等顺血流方向依其行程提出新分段法，可分为 C1：颈段；C2：段岩骨段；C3：破裂孔段；C4：海绵窦段；C5：床突段；C6：眼段；C7：后交通段，如下图所示：



##### 1.2、颈内动脉后交通（C7）段重要分支

颈内动脉后交通（C7）段起于紧靠后交通段起点的近侧，发出后交通动脉、脉络丛前动脉，止于颈内动脉分叉处。

###### 1.2.1 后交通动脉

后交通动脉从颈内动脉发出，在蝶鞍和动眼神经的上面，水平向后稍向内行，

与大脑后动脉吻合，供应颞叶的内侧面、底面和枕叶及背侧丘脑、内外侧膝状体、下丘脑和底丘脑，后交通沿途发出分支：前群供应丘脑下部、丘脑腹部、视束前部和内囊后肢；后群供应丘脑底核。

### 1.2.2 脉络膜前动脉

脉络膜前动脉从颈内动脉发出后，一般向后越过视束前部，至大脑脚前缘又斜向后外，再越过视束，在海马回沟附近，经脉络膜裂入侧脑室下角，形成脉络丛，与脉络膜后外动脉吻合，向后上绕颈侧脑室中央部，在室间孔与第三脑室脉络丛相接。主要供应海马回及海马回钩，外侧膝状体、大脑脚、乳头体、灰结节，及尾状核、杏仁核和海马。

## 2、国内外研究现状、发展及前景

颅底是脑神经、脑血管、脑干出入颅腔的部位，位置深、隐蔽，解剖结构复杂，一直是神经外科和耳鼻喉科的手术禁区<sup>[1-3]</sup>。颈内动脉也需经过此区域，为应对临床手术需要，以往在尸体解剖学以及组织病理学方面，对于颈内动脉拥有了较详研究结果，系统性的得出了正常数据<sup>[4-6]</sup>。我国的尸体解剖虽然起步较晚，但也逐步建立和完善了国人自己的数据资料。近 20 年来我国神经影像学、显微外科技术及立体定位技术等相继发展，在颈内动脉及颅底相关结构的细微研究、三维影像重建报道不断增多，并取得一定的进展，逐步拉近与国外的相关研究，而且相应地该区域的应用解剖研究成为临床应用解剖的研究热点课题之一。目前该区域的临床相关研究进展相对缓慢，其进展受到了解剖基础及技术条件的限制。国外的相关研究在应用多种影像技术手段指导下走在世界前列，其中包括多种影像技术融合指导影像诊断及临床治疗，三维立体成像技术为肿瘤制定最佳方案等<sup>[7-11]</sup>。为颈内动脉及颅底相关疾病提供准确的诊断信息及有效的治疗方案，为颅底颌面外科的发展提供保证<sup>[11,12-15]</sup>。本课题利用三维影像技术进行颅底血管的影像解剖测量研究。

目前用于螺旋 CT 的图像后处理技术主要有：多平面重建技术（MPR）、曲面重建技术（CPR）、遮蔽表面显示技术（SSD）、最大强度投影技术（MIP）、最小强度投影技术（MinIP）、容积再现技术（VR）、表面透视显示技术（Ray Sum Display）以及 CT 导航仿真内窥镜技术（VE）。在用于显示骨性结构和血管三维



Degree papers are in the “[Xiamen University Electronic Theses and Dissertations Database](#)”. Full texts are available in the following ways:

1. If your library is a CALIS member libraries, please log on <http://etd.calis.edu.cn/> and submit requests online, or consult the interlibrary loan department in your library.
2. For users of non-CALIS member libraries, please mail to [etd@xmu.edu.cn](mailto:etd@xmu.edu.cn) for delivery details.

厦门大学博硕士论文摘要库